

РЕГЕНЕРАЦИЯ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТУРБОУСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

Ларионов К.Б., Калугин Б.Ф.

Научный руководитель: Калугин Б. Ф., к.т.н., доцент

Томский Политехнический Университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: larryk@sibmail.com

На сегодняшний день регенерация питательной воды на высокотемпературных турбоустановках является актуальной проблемой, поскольку данная тема требует более углубленного изучения и исследования влияния высокой начальной температуры, как на изменение процесса работы регенеративных установок, так и эффективность всего цикла.

Для исследования данного вопроса в качестве анализа влияния начальной температуры и температуры в пароперегревателе $t_0/t_{\text{пн}}=1400^\circ\text{C}$, использовалась турбоустановка К-200-130 с начальными параметрами пара $t_0=565^\circ\text{C}$ и $P_0=13$ МПа и конечным давлением $P_K=0,0033$ МПа.

Изменив температуру пара с $t_0/t_{\text{пн}}=565^\circ\text{C}$ до $t_0/t_{\text{пн}}=1400^\circ\text{C}$, при неизменном начальном давлении $P_0=13$ МПа, конечном давлении $P_K=0,0033$ МПа, расходе пара $D_0=154$ кг/с и давлений пара в отборах, после произведенного последующего расчета было определено, что мощность данной установки возросла на 297,5 МВт и составила 497,5 МВт, что привело к увеличению абсолютного электрического КПД на 13,4%, который составил 57,6%.

В данной работе был рассмотрен вопрос влияния регенерации питательной воды с использованием воздухоподогревателей на эффективность цикла с начальной температурой $t_0/t_{\text{пн}}=565/565^\circ\text{C}$ и $t_0/t_{\text{пн}}=1400/1400^\circ\text{C}$ при постоянном давлении пара в отборах, предназначенными для снижения температуры отборного перегретого пара выше на $10\div 15^\circ\text{C}$ от состояния насыщения. Так же отметим, что данный расчет производился с точки зрения термодинамической эффективности.

Таким образом, перед каждым регенеративным подогревателем на линии отбора пара был установлен воздухоподогреватель, как отдельный теплообменный аппарат (рис. 1). После подогрева воздуха паром, его потоки смешиваются и поступают в котлоагрегат.

Для определения относительных расходов пара в отборах составляем систему уравнений теплового и материального баланса, как для линии ПВД, так и для линии ПНД.

После вычисления систем уравнений для данной схемы в программе MathCAD, были определены относительные расходы пара, а так же абсолютный электрический КПД установки. Энтальпия воздуха определялась с помощью таблиц [2], с учетом температуры недогрева воздуха паром на 10°C . Результаты определенных параметров занесены в таблицах 1 и 2.

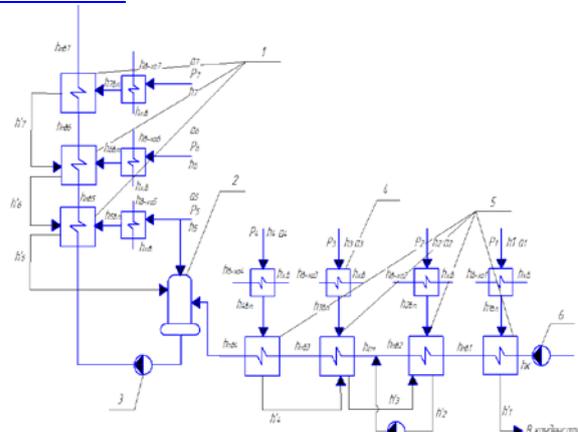


Рисунок 1. Схема регенеративной установки с применением воздухоподогревателя (1 - подогреватели высокого давления, 2 - деаэрактор, 3 - питательный насос, 4 - воздухоподогреватель, 5 - подогреватели низкого давления, 6 - конденсационный насос)

Таблица 1. Относительные расходы пара $\alpha_{\text{пара}}$, энтальпии воздуха $h_{\text{ив-х а}}$, пара после воздухоподогревателя $h_{\text{ив.п.}}$, питательной воды $h_{\text{пв}}$ и абсолютный электрический КПД при начальной температуре $t_0/t_{\text{пн}}=565/565^\circ\text{C}$

| № отбора | $\alpha_{\text{пара}}$ | $h_{\text{ив-х а}}$, кДж/кг | $h_{\text{ив.п.}}$, кДж/кг | $h_{\text{пв}}$, кДж/кг | $\eta_{\text{э}}$, % |
|----------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 7 | 0,05514 | 666,7 | 2837 | 1018 | 44,5 |
| 6 | 0,08829 | 612,9 | 2830 | 919 | |
| 5 | 0,03527 | 755,8 | 2802 | 749 | |
| 4 | 0,04947 | 663,4 | 2773 | 634 | |
| 3 | 0,04262 | 557,2 | 2733 | 507 | |
| 2 | 0,04810 | 473,6 | 2698 | 416 | |
| 1 | 0,03846 | 339,6 | 2632 | 241 | |

Таблица 2. Относительные расходы пара $\alpha_{\text{пара}}$, энтальпии воздуха $h_{\text{ив-х а}}$, пара после воздухоподогревателя $h_{\text{ив.п.}}$, питательной воды $h_{\text{пв}}$ и абсолютный электрический КПД при начальной температуре $t_0/t_{\text{пн}}=1400/1400^\circ\text{C}$

| № отбора | $\alpha_{\text{пара}}$ | $h_{\text{ив-х а}}$, кДж/кг | $h_{\text{ив.п.}}$, кДж/кг | $h_{\text{пв}}$, кДж/кг | $\eta_{\text{э}}$, % |
|----------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 7 | 0,05514 | 1413 | 2837 | 1018 | 60,2 |
| 6 | 0,08756 | 1337 | 2830 | 919 | |
| 5 | 0,03617 | 1630 | 2802 | 749 | |
| 4 | 0,04934 | 1407 | 2773 | 634 | |
| 3 | 0,04251 | 1242 | 2733 | 507 | |
| 2 | 0,04938 | 1071 | 2698 | 416 | |
| 1 | 0,03865 | 778 | 2632 | 241 | |

После проведенных расчетов определим расход необходимого количества воздуха для работы котлоагрегата $D_{в-ха}$, расход воздуха проходящий через воздухоподогреватели, а так же расход топлива для схем с начальной температурой $t_0=565/565^{\circ}\text{C}$ и $t_0=1400/1400^{\circ}\text{C}$. Для данного расчета было принято следующее топливо - природный газ Уренгойского месторождения, с низшей теплотворной способностью $Q_{н}^p$ равной 46008,3 кДж/кг. Полученные результаты отобразим в таблицах 3 и 4.

$$D_{ив-ха} = D_{отбi} \cdot (h_i - h_{в.п.}) / (h_{ив-ха} - h_{х.в.}), \text{ кг/с.}$$

где h_i –энтальпия пара из отбора, $D_{отбi}$ –расход пара из отбора, $h_{ив-ха}$ - энтальпия воздуха, $h_{х.в.}$ - энтальпия холодного воздуха при 30°C .

$$V_{ка} = (Q_{ка} - Q_{вн.в}) / Q_p \cdot \eta_{ка}, \text{ кг/с.}$$

где $Q_{ка}$ – количество теплоты необходимое для ТУ, $Q_{вн.в}$ – количество теплоты отданное паром воздуху, $\eta_{ка}$ - КПД котлоагрегата равный 95%.

$$D_{в-ха} = L_0 \cdot k_{изб.в-ха} \cdot V_{ка}, \text{ кг/с}$$

Где L_0 – количество воздуха для сжигания одного кг топлива равный 17,12 кг/кг, $k_{изб.в-ха}$ – коэффициент избытка воздуха равный 1,05.

Таблица 3 - Расход воздуха проходящий через воздухоподогреватель, расход воздуха для работы котлоагрегата и расход топлива для схемы с начальной температурой $t_0/t_{пп} = 565/565^{\circ}\text{C}$

| № возд.подогревателя | $D_{ив-ха}$, кг/с | V, кг/с | $D_{в-ха}$, кг/с |
|----------------------|--------------------|---------|-------------------|
| 7 | 8,72 | 9,90 | 178 |
| 6 | 12,51 | | |
| 5 | 7,5 | | |
| 4 | 10,02 | | |
| 3 | 8,13 | | |
| 2 | 8,32 | | |
| 1 | 0,32 | | |
| Всего | 55,52 | | |

Таблица 4 - Расход воздуха проходящий через воздухоподогреватель, расход воздуха для работы котлоагрегата и расход топлива для схемы с начальной температурой $t_0/t_{пп} = 1400/1400^{\circ}\text{C}$

| № возд.подогревателя | $D_{ив-ха}$, кг/с | V, кг/с | $D_{в-ха}$, кг/с |
|----------------------|--------------------|---------|-------------------|
| 7 | 17,54 | 5 17,2 | 310,08 |
| 6 | 24,07 | | |
| 5 | 9,01 | | |
| 4 | 14,14 | | |
| 3 | 12,19 | | |
| 2 | 11,15 | | |
| 1 | 10,05 | | |
| Всего | 98,14 | | |

Таким образом, в результате включения в схему дополнительных поверхностей нагрева воздуха перед регенеративными подогревателями наблюдается увеличение абсолютного электрического КПД для схемы с начальной температурой $t_0/ t_{пп} = 1400/1400^{\circ}\text{C}$ на 2,5% от схемы без применения дополнительного теплообменного оборудования для повышения эффективности регенеративной установки. Данный прирост абсолютного электрического КПД связан с использованием полезной теплоты отданной паром отборов воздуху.

Список используемой литературы:

1. Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д., Турбины тепловых и атомных электростанций. -М.: Изд-во МЭИ, 2001. - 488 с.
2. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства воздуха и продуктов сгорания топлив 1984 – 104 М: Энергоатомиздат.